

О.Г. КОРОЛЬ, Б.В. КЛИМЕНКО, О.В. ЄРЕСЬКО

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В НОВОМУ НАПІВПРОВІДНИКОВОМУ ПРИСТРОЇ ФОРСОВАНОГО КЕРУВАННЯ МОНОСТАБІЛЬНИМ ЕЛЕКТРОМАГНІТОМ ВАКУУМНОГО КОНТАКТОРА

Проведено аналіз недоліків існуючих систем форсованого керування з пусковими і утримуючими обмотками, в яких застосовуються розмикальні внутрішні контакти керування, які комутують великі пускові струми. Аналіз зумовив пошук нових технічних рішень пов'язаних з підвищенням надійності таких систем за рахунок виключення зазначених контактів керування. Запропоновано новий напівпровідниковий пристрій форсованого керування моностабільним електромагнітом вакуумного контактора, в якому замість ненадійного внутрішнього контакту керування застосована нескладна електронна схема. Проведено експериментальне дослідження особливостей функціонування нового напівпровідникового пристрою форсованого керування моностабільним електромагнітом вакуумного контактора КВТн-250/1,14 виробництва компанії «Електродинаміка». Було проведено дві серії дослідів: перша серія дослідів була проведена для напівпровідникової системи форсованого керування, в якій відсутній замикальний внутрішній контакт керування, а друга серія дослідів – для системи форсованого керування в якій був наявний замикальний контакт який комутує незначний струм у колі керування. Були отримані осцилограми струму і напруги в пусковій та утримуючій обмотках при різних значеннях напруги $U = 220, 180, 150$ В та при живленні від джерела постійної напруги, а потім від джерела змінної напруги. Зроблені висновки та рекомендовано в новому напівпровідниковому пристрої форсованого керування моностабільним електромагнітом вакуумного контактора застосовувати замикальний внутрішній контакт керування, який спрацює в момент закінчення переміщення рухомої частини ще до моменту спрацювання пристрою керування, що не дозволить протіканню великого пускового струму через пускові обмотки. Новий напівпровідниковий пристрій форсованого керування моностабільним електромагнітом застосовується в продукції компанії «Електродинаміка» та успішно експлуатується з жовтня 2017 року і дотепер на декількох підприємствах гірничо-видобувної галузі (шахти, ГЗК).

Ключові слова: вакуумний контактор, актуатор, моностабільний електромагніт, пристрій форсованого керування, пускова обмотка, утримуюча обмотка.

Е.Г. КОРОЛЬ, Б.В. КЛИМЕНКО, А.В. ЕРЕСЬКО

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В НОВОМ ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ УСТРОЙСТВЕ ФОРСИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ МОНОСТАБИЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТОМ ВАКУУМНОГО КОНТАКТОРА

Проведен анализ недостатков существующих систем форсированного управления с пусковыми и удерживающими обмотками, в которых применяются размыкающие внутренние контакты управления, которые коммутируют большие пусковые токи. Анализ обусловил поиск новых технических решений, связанных с повышением надежности таких систем за счет исключения указанных контактов управления. Предложено новое полупроводниковое устройство форсированного управления моностабильным электромагнитом вакуумного контактора, в котором вместо ненадежного внутреннего контакта управления применена несложная электронная схема. Проведено экспериментальное исследование особенностей функционирования нового полупроводникового устройства форсированного управления моностабильным электромагнитом вакуумного контактора КВТн-250 / 1,14 производства компании «Электродинамика». Было проведено две серии опытов: первая серия опытов была проведена для полупроводниковой системы форсированного управления, в которой отсутствует замыкающий внутренний контакт управления, а вторая серия опытов – для системы форсированного управления в которой присутствовал контакт, коммутирующий незначительный ток в цепи управления. Были получены осциллограммы тока и напряжения в пусковой и удерживающей обмотках при различных значениях напряжения $U = 220, 180, 150$ В, при питании от источника постоянного напряжения, а затем при питании от источника переменного напряжения. Сделаны выводы и рекомендовано в полупроводниковом устройстве форсированного управления моностабильным электромагнитом вакуумного контактора применять замыкающий внутренний контакт управления, который сработает в момент окончания перемещения подвижной части еще до момента срабатывания устройства управления, что не позволит протеканию большого пускового тока через пусковые обмотки. Новое полупроводниковое устройство форсированного управления моностабильным электромагнитом применяется в продукции компании «Электродинамика» и успешно эксплуатируется с октября 2017 года и до сих пор на нескольких предприятиях горнодобывающей отрасли (шахты, ГОКи).

Ключевые слова: вакуумный контактор, актуатор, моностабильный электромагнит, устройство форсированного управления, пусковая обмотка, удерживающая обмотка.

O.G. KOROL, B.V. KLYMENKO, O.V. ERESKO

INVESTIGATIONS OF TRANSIENTS IN THE NOVEL SEMICONDUCTOR DEVICE OF FORCED CONTROL OF THE VACUUM CONTACTOR MONOSTABLE ELECTROMAGNET

The analysis of the disadvantages of the existing systems of forced control with buster and holding windings, in which the opening internal control contacts are used, which commute large starting currents, is carried out. The analysis is led to the search for new technical solutions related to improving the reliability of such systems by eliminating the indicated control contacts. A novel semiconductor device of forced control of the vacuum contactor monostable electromagnet is proposed, in which a simple electronic circuit is used instead of an unreliable internal control contact. The experimental investigations of the operating features of the novel semiconductor device of forced control of the КВТн-250/1,14 vacuum contactor monostable electromagnet produced by the Electrodynamics Company are carried out. Two series of experiments are conducted: the first series of experiments was conducted for the semiconductor device of forced control, in which there is no closing internal control contact, and the second series of experiments – for a forced control system in which the closing internal control contacts which commutes the insignificant current in the control circuit is used. The oscillograms of current and voltage in the buster and holding windings are obtained at various voltage values $U = 220, 180, 150$ V, and when powered from a source of constant voltage, and then from a source of alternating voltage. The conclusions are made and it is recommended to use a closing internal control contact in the forced control system of the vacuum contactor monostable electromagnet, which will operate when the moving part ends moving before the control device triggers, which will not allow a large starting current to flow through the starting windings. The novel semiconductor device of forced control of the monostable electromagnet is used in the products of the Electrodynamics Company and is successfully operating since October 2017 and still at several mining enterprises (mines, processing plants).

Key words: vacuum contactor, actuator, monostable electromagnet, forced control device, buster winding, holding winding.

© О.Г. Король, Б.В. Клименко, О.В. Єресько, 2019

Вступ. Дана робота є продовженням досліджень, наведених в [1]. Ці дослідження пов'язані з системами форсованого керування з пусковими та утримуючими обмотками, які застосовуються у вакуумних контакторах для зменшення їхніх розмірів та споживаної потужності, а також для підвищення швидкодії та надійності. Як було зазначено в [1], в таких системах зазвичай застосовуються двострижневі моностабільні електромагніти з двома котушками, кожна з яких містить по дві намотані одна на одну обмотки – пускову та утримуючу. Відрізняються ці обмотки по числу витків (пускова обмотка має відносно мале число витків, а утримуюча – велике), діаметром проводу, яким вони намотуються (пускова обмотка намотується проводом відносно великого поперечного перерізу, а утримуюча – проводом меншого поперечного перерізу). При цьому пускова обмотка розвиває значну МРС, а утримуюча – значно меншу МРС, потужність, що виділяється в пусковій обмотці, яка працює короткочасно, набагато перевищує потужність, що виділяється в утримуючій обмотці, яка може працювати тривало [2].

В роботі [1] показано, що найбільш поширеним на сьогоднішній день є пристрій форсованого керування з пусковими та утримуючими обмотками, принципова схема якого наведена на рис. 1.

У цій схемі (рис. 1) в момент пуску, тобто після приєднання входу діодного мосту до джерела постійної або змінної напруги, завдяки замкненому внутрішньому контакту керування до виходу мосту будуть приєднані включені послідовно обидві пускові обмотки В, а після спрацювання, коли контакт керування розімкнеться, послідовно з ними підключаються ще й утримуючі обмотки Н [1, 3, 4].

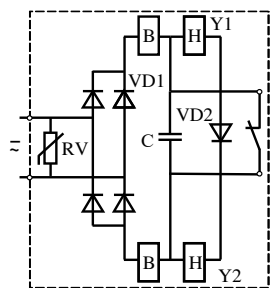


Рис. 1. Принципова схема найбільш поширеного пристрою форсованого керування, що застосовується у вакуумних контакторах [3-4]

В роботі [1] виділені такі недоліки даної системи форсованого керування:

- наявність нормально-замкненого внутрішнього контакту керування, який знижує надійність роботи системи внаслідок підвищеного зносу контакту під час горіння електричної дуги;
- недостатня експлуатаційна надійність пристрою, що обумовлена відсутністю захисту від неприпустимого зниження напруги, коли комутаційний апарат може не спрацювати і контакт не розімкнеться, внаслідок чого відбудеться збільшення пускового струму на пускових обмотках і вони можуть бути пошкоджені внаслідок перегріву;
- наявність конденсатора, який при виконанні операції вимикання розряджається на нормально-замкнений внутрішній контакт керування, що спричиняє знос останнього.

Виявлені в результаті експериментальних досліджень цього пристрою форсованого керування [1] суттєві його недоліки спонукали авторів до пошуку можливостей удосконалення цього пристрою, зокрема за рахунок заміни ненадійного контактної комутаційного елементу (внутрішнього розмикального контакту керування) напівпровідниковим комутаційним елементом, що дозволило суттєво підвищити надійність роботи пристрою в експлуатації.

Метою роботи є дослідження особливостей функціонування нового напівпровідникового пристрою форсованого керування моностабільним електромагнітом вакуумного контактора та експериментальне підтвердження його переваг відносно електромеханічного пристрою керування.

Новий напівпровідниковий пристрій форсованого керування моностабільним електромагнітом вакуумного контактора. Схема напівпровідникового пристрою форсованого керування показана на рис. 2 [5]. У цій схемі також передбачається використовувати моностабільний електромагніт з двома котушками КМ.У1 і КМ.У2 кожна з яких містить пускову В і утримуючу Н обмотки. Реалізовано той же принцип форсування, що й в електромеханічному пристрої, тобто на першому етапі (в період спрацювання контактора) живляться тільки з'єднані послідовно пускові обмотки, а на другому етапі (після спрацювання контактора) до них послідовно приєднуються обидві утримуючі обмотки, але замість розмикального внутрішнього контакту керування застосовано нескладний електронний пристрій, який містить таймер А з виводами ХТ1, ХТ2 (живлення) та ХТ3 (керуючий), а також біполярний транзистор VT з ізолюваним затвором (рис. 2). У цьому пристрої одночасно з подачею напруги на вхід пускових обмоток В подається напруга живлення і на таймер А через його виводи живлення ХТ1 та ХТ2. В цей момент таймер А запускається і видає сигнал на свій керуючий вивід ХТ3, з'єднаний з затвором транзистора VT. Останній відкривається і переходить в режим насичення на протязі всього заданого інтервалу часу роботи таймера А, який має бути більшим за час спрацювання контактора з певним запасом. Струм, який тече через пускові обмотки В та біполярний транзистор VT, спричиняє спрацювання електромагніта. По завершенні заданого інтервалу часу роботи таймера А, дія керуючого сигналу на затвор транзистора VT припиняється, останній закривається, підключаючи утримуючі обмотки послідовно з пусковими і зменшуючи струм до безпечного рівня навіть у випадку, коли контактор не спрацює (наприклад, при зниженні напруги). При цьому обмотки електромагніта не перегріваються й не виходять з ладу, як в електромеханічному пристрої з внутрішнім розмикальним контактом керування.

Певним недоліком цього пристрою є те, що весь час, поки таймер А не спрацює, великий пусковий струм буде проходити через пускові обмотки В й після спрацювання контактора, що призводить до надлишкового нагрівання котушок. Цей недолік може бути подоланий за рахунок застосування внутрішнього замикального контакту керування ВЛ, який спрацює в момент закінчення переміщення рухомої частини ще до моменту спрацювання таймера А, зменшуючи різницю потенціалів між затвором та емітером біполярного транзи-

стора VT практично до нуля, внаслідок чого він закривається й послідовно з пусковими обмотками В підключаються утримуючі обмотки Н тобто процес спрацьовування контактора повністю завершується [5].

При виконанні операції вимикання комутаційного апарата внаслідок команди, яка надходить ззовні від оператора або системи релейного захисту або від зовнішньої системи керування тощо, напруга живлення зі входу діодного випростувача VD1 знімається. При цьому послідовно з'єднані пускова та утримуюча обмотки першої котушки КМ.Y1 електромагніта та пускова обмотки другої котушки КМ.Y2 електромагніта закорочуються через діод VD2 та діодний випростувач VD1. Струм в зазначених обмотках зменшується за законом, близьким до експоненціального, рухома частина електромагніта під дією поворотної пружини повертається у положення спокою, а головні контакти комутаційного апарата розмикаються [5].

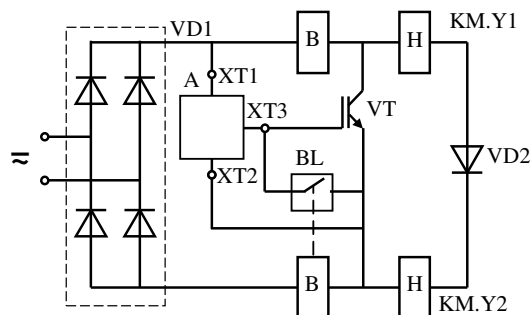


Рис. 2. Узагальнена схема напівпровідникової системи форсованого керування моностабільним електромагнітом

Ця узагальнена схема напівпровідникової системи форсованого керування моностабільним електромагнітом (рис. 2) може бути реалізована різними способами, один з яких представлено на рис. 3. Саме ця схема була предметом дослідження в даній роботі.

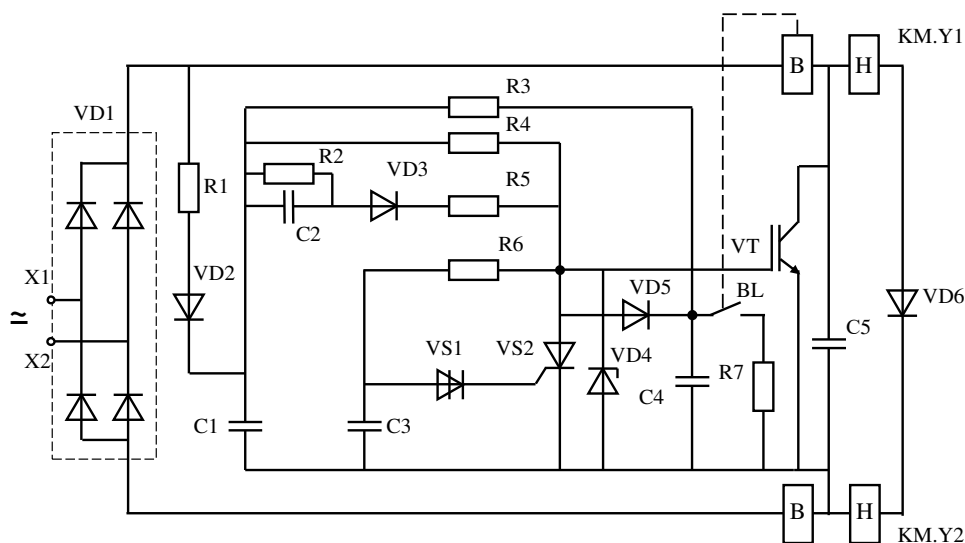


Рис. 3. Досліджувана реалізація напівпровідникової системи форсованого керування моностабільним електромагнітом

Після приєднання вхідних терміналів X1 та X2 до джерела постійної або змінної напруги ця напруга подається на вхід діодного мосту VD1, на виході якого з'являється відповідно постійна або двопівперіодна випростана напруга. До виходу діодного мосту приєднано послідовне коло, яке складається з елементів R1, VD2, C1 та обмотки В котушки КМ.Y2. Параметри елементів цього кола підібрані так, що конденсатор C1 швидко заряджається і стає джерелом живлення для пристрою керування. Паралельно з цим, завдяки напрузі, що утворилася на виході діодного мосту, починає проходити струм через пускові обмотки В обох котушок (КМ.Y1 й КМ.Y2) та конденсатор C5, який швидко заряджається, після чого проходження струму у цьому колі припиняється.

У цей же час струм проходить також через гілку C2, R2, VD3, R5, в результаті чого на затвор біполярного транзистора VT подається потенціал певного рівня, який обмежується стабілітроном VD4, завдяки чому транзистор відкривається (з несуттєвою часовою затримкою після приєднання пристрою до джерела живлення) за рахунок відповідним чином підбраного співвідношення параметрів елементів вказаної гілки. Далі пусковий струм тече через включені послідовно

обидві пускові обмотки В котушок КМ.Y1 й КМ.Y2, що спричиняє штатне спрацьовування контактора.

В досліджуваній реалізації напівпровідникової системи форсованого керування моностабільним електромагнітом таймер реалізовано у вигляді одновібратора на елементах R6, C3, VS1, VS2, R4. Завдяки елементам цієї гілки, що складається з резистора R6 та конденсатора C3, конденсатор починає заряджатися й через певний проміжок часу, який є достатнім для спрацьовування контактора, напруга на конденсаторі C3 стає достатньою для відкриття діниста VS1, після відкриття якого імпульс струму від конденсатора C3 забезпечує відкриття тиристора VS2, який розряджає смість затвору VT, внаслідок чого транзистор VT закривається і перший етап включення контактора закінчується. Для підтримки тиристора у відкритому стані встановлено резистор R4.

Для того, щоб через пускові обмотки В не проходив великий пусковий струм після спрацьовування контактора, в цьому пристрої застосовують внутрішній замикальний контакт керування BL, який спрацьовує в момент закінчення переміщення рухомої частини й закоротить затвор транзистора VT по гілці VD5 – R7. Для усунення впливу брязкоту цього контакту на роботу транзистора VT встановлено резистор R3 і конденсатор C4.

Досліджуваний комутаційний апарат. Як і в роботі [1] експериментальні дослідження виконувалися на серійному вакуумному контакторі КВТн-250/1,14 виробництва компанії «Електродинаміка» [1, 6]. На рис. 4 наведено фото цього контактора з напівпровідниковою форсованою системою керування.

Позначення на рис. 4: 1 – вакуумні переривники, 2 – термінали, 3 – котушки, 4 – поворотна пружина, 5 – блоки допоміжних контактів, 6 – напівпровідниковий пристрій керування, 7 – монтажні отвори.

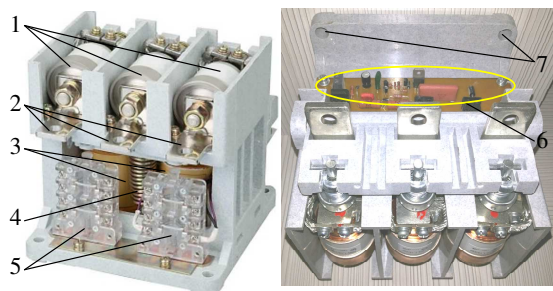


Рис. 4. Зовнішній вигляд досліджуваного контактора КВТн-250/1,14 з напівпровідниковою форсованою системою керування

У досліджуваному контакторі застосовано новий напівпровідниковий пристрій форсованого керування для контактора КВТн-250/1,14 (рис. 5), до якого було приєднано дві частини штепсельних рознімачів з штировими контактами (1 та 2) для приєднання обмоток двох котушок, до виводів яких було приєднано відповідні частини рознімачів з гніздовими контактами (4 та 5), а також резистори подільників напруги (3) та резистори, які виконували функції вимірювальних шунтів у колах пускової обмотки однієї з котушок (6) та утримуючої обмотки цієї ж котушки (7), термінал для приєднання внутрішнього контакту керування (8).

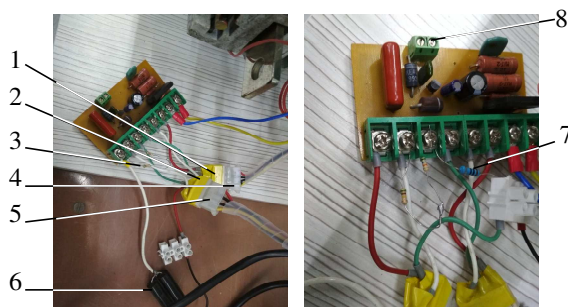


Рис. 5. Новий напівпровідниковий пристрій форсованого керування для досліджуваного контактора

Результати досліджень процесів в напівпровідниковій системі форсованого керування моностабільним електромагнітом контактора КВТн-250/1,14. Дослідження виконувалися із застосуванням двопроменевого цифрового осцилографа SIGLENT SDS1052 [7] для двох серій дослідів.

Перша серія дослідів була проведена для напівпровідникової системи форсованого керування, в якій відсутній внутрішній замикальний контакт керування BL (рис. 3). У другій серії дослідів було підключено внутрішній замикальний контакт керування BL (рис. 3, гілка R3, C4, VD5, BL, R7).

Отримані осцилограми струму і напруги в пусковій обмотці (рис. 6) і утримуючій обмотці (рис. 7), під час виконання операції включення, при постійній напрузі при $U = 220, 180, 150$ В для напівпровідникової системи форсованого керування, в якій відсутній внутрішній замикальний контакт керування BL (рис. 3) та в якій він є (рис. 3, гілка R3, C4, VD5, BL, R7).

Отримані осцилограми струму і напруги в пусковій обмотці (рис. 8) і утримуючій обмотці (рис. 9), під час виконання операції включення, при змінній напрузі при $U = 220, 180, 150$ В для напівпровідникової системи форсованого керування, в якій відсутній внутрішній замикальний контакт керування BL (рис. 3) та в якій він є (рис. 3, гілка R3, C4, VD5, BL, R7).

Згідно отриманих осцилограм було встановлено час спрацьовування електромагніта та час проходження пускового струму (табл. 1).

Таблиця 1 – Час спрацьовування електромагніта та час проходження пускового струму

Без внутрішнього контакту керування BL			
Напруга	~ 220 В	~ 180 В	~ 150 В
Час спрацьовування електромагніта	50 мс	75 мс	не спрацював
Час проходження пускового струму	125 мс	125 мс	125 мс
За наявності внутрішнього контакту керування BL			
Напруга	~ 220 В	~ 180 В	~ 150 В
Час спрацьовування електромагніта	50 мс	75 мс	не спрацював
Час проходження пускового струму	50 мс	75 мс	125 мс
Без внутрішнього контакту керування BL			
Напруга	– 220 В	– 180 В	– 150 В
Час спрацьовування електромагніта	55 мс	110 мс	не спрацював
Час проходження пускового струму	125 мс	125 мс	125 мс
За наявності внутрішнього контакту керування BL			
Напруга	– 220 В	– 180 В	– 150 В
Час спрацьовування електромагніта	55 мс	110 мс	не спрацював
Час проходження пускового струму	55 мс	110 мс	125 мс

Проведені дослідження показали, що напівпровідникова форсована система керування має значні переваги порівняно з електромеханічною системою керування, розглянутою в роботі [1], а саме:

- підвищена надійність пристрою при експлуатації, оскільки у ньому забезпечується захист від виходу обмоток з ладу внаслідок неприпустимого перегрівання при зниженні напруги живлення в момент подачі команди на спрацьовування контактора;
- відсутність нормально-замкненого контакту керування, який застосовується в електромеханічній системі, і хоча конденсатор, який приєднується паралельно цьому контакту, суттєво зменшує знос при розмикання ним великого пускового струму, цей конденсатор спричиняє значний знос вказаного контакту при його замиканні під час виконання контактором операції вимикання, що суттєво знижує надійність роботи контактора;
- застосування внутрішнього замикального контакту керування, який закриває біполярний транзистор в момент спрацьовування контактора, забезпечує відсутність надлишкового нагрівання обмоток, а також не знижує надійність роботи контактора, оскільки цей контакт комутує незначний струм у колі керування.

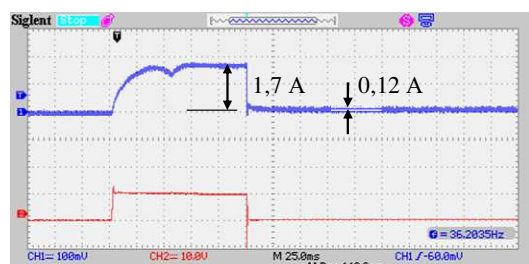
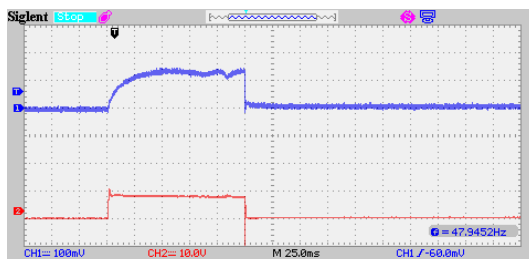
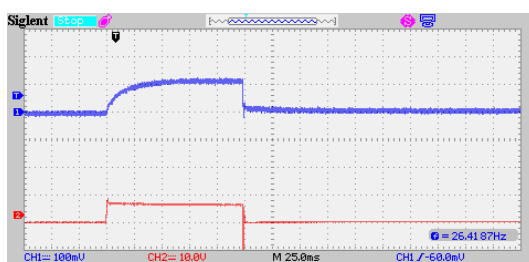
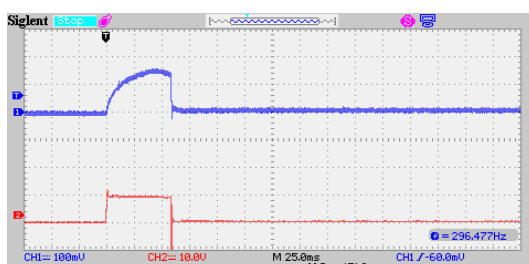
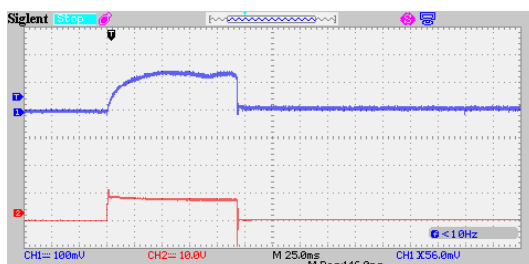
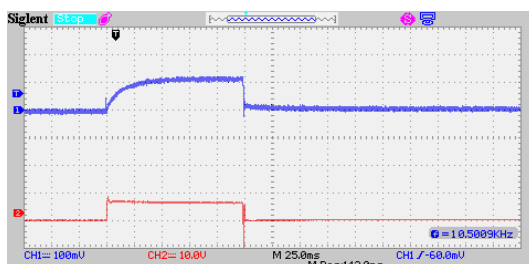
а – $U = 220$ В, без замикального контактуб – $U = 180$ В, без замикального контактув – $U = 150$ В, без замикального контакту (не спрацював)г – $U = 220$ В, із замикальним контактомд – $U = 180$ В, із замикальним контактоме – $U = 150$ В, із замикальним контактом (не спрацював)

Рис. 6. Динамічні характеристики струму і напруги в пусковій обмотці при живленні від джерела постійної напруги (опір шунта у колі цієї обмотки становить 0,1 Ом)

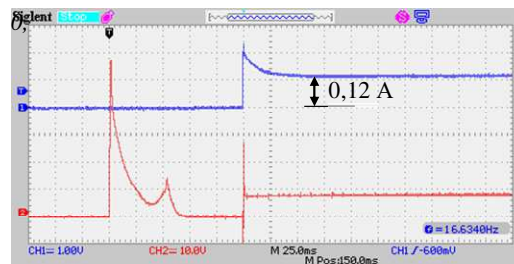
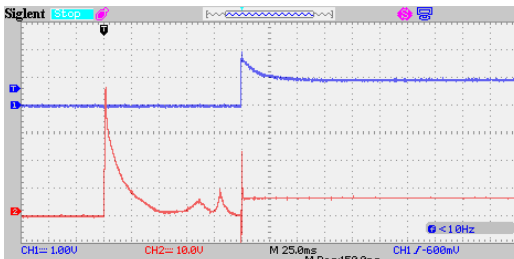
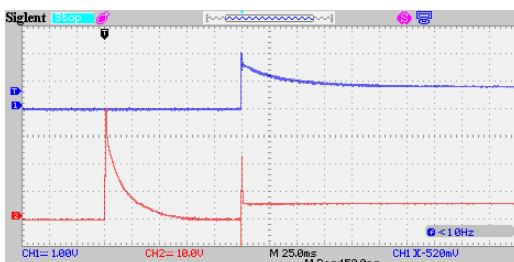
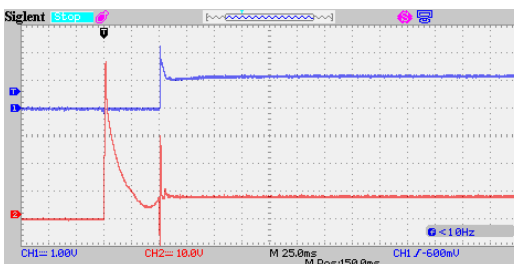
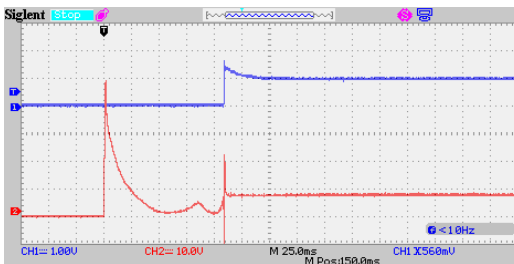
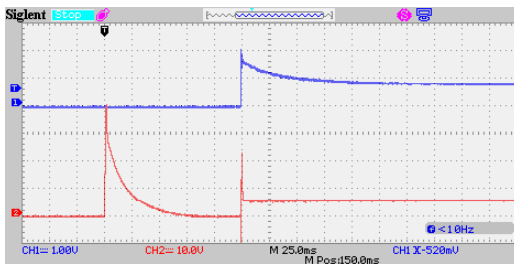
а – $U = 220$ В, без замикального контактуб – $U = 180$ В, без замикального контактув – $U = 150$ В, без замикального контакту (не спрацював)г – $U = 220$ В, із замикальним контактомд – $U = 180$ В, із замикальним контактоме – $U = 150$ В, із замикальним контактом (не спрацював)

Рис. 7. Динамічні характеристики струму і напруги в утримуючій обмотці при живленні від джерела постійної напруги (опір шунта у колі цієї обмотки становить 10 Ом)

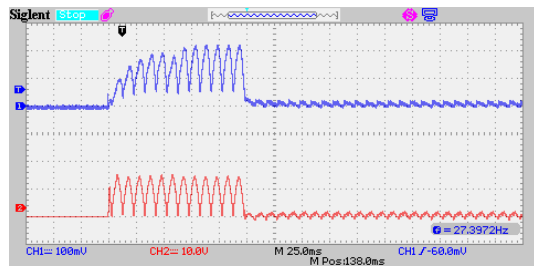
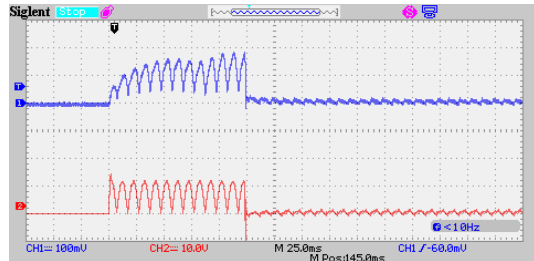
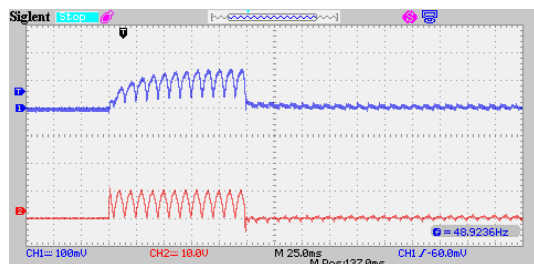
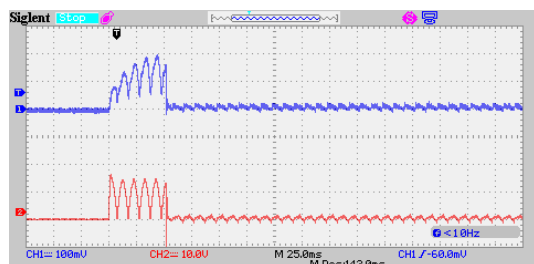
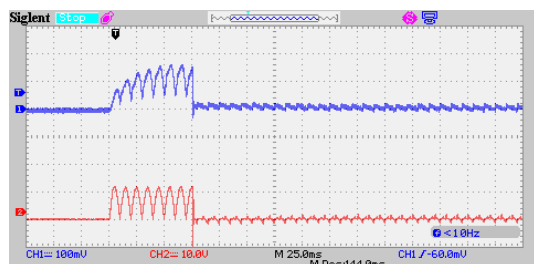
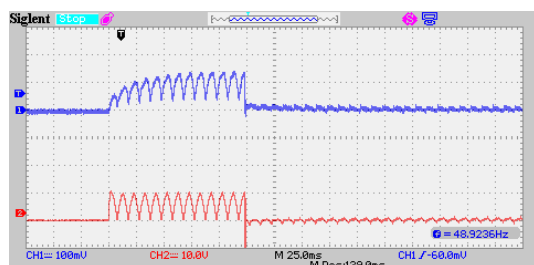
а – $U = 220$ В, без замикального контактуб – $U = 180$ В, без замикального контактув – $U = 150$ В, без замикального контакту (не спрацював)г – $U = 220$ В, із замикальним контактомд – $U = 180$ В, із замикальним контактоме – $U = 150$ В, із замикальним контактом (не спрацював)

Рис. 8. Динамічні характеристики струму і напруги в пусковій обмотці при живленні від джерела змінної напруги (опір шунта у колі цієї обмотки становить 0,1 Ом)

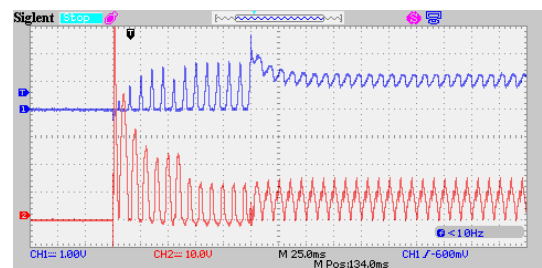
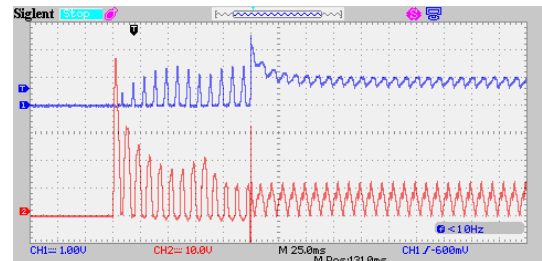
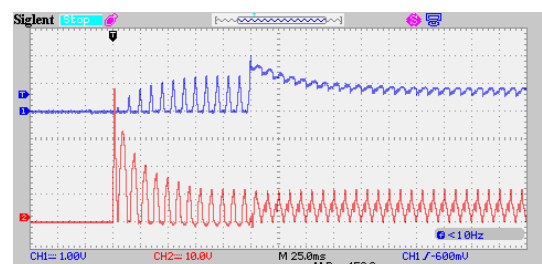
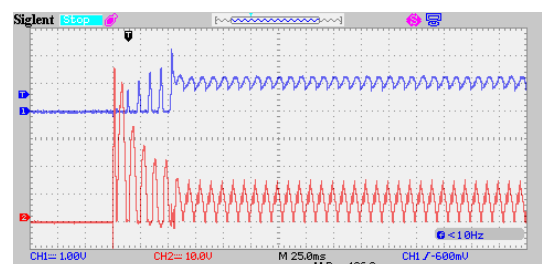
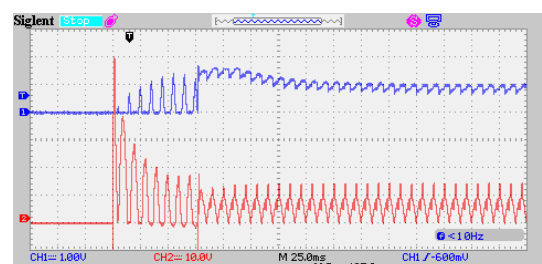
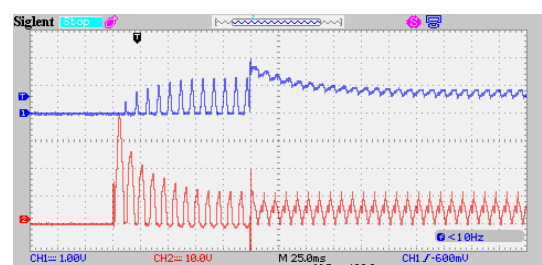
а – $U = 220$ В, без замикального контактуб – $U = 180$ В, без замикального контактув – $U = 150$ В, без замикального контакту (не спрацював)г – $U = 220$ В, із замикальним контактомд – $U = 180$ В, із замикальним контактоме – $U = 150$ В, із замикальним контактом (не спрацював)

Рис. 9. Динамічні характеристики струму і напруги в утримуючій обмотці при живленні від джерела змінної напруги (опір шунта у колі цієї обмотки становить 10 Ом)

Висновки.

1. Проведений аналіз недоліків існуючих пристроїв форсованого керування електромагнітами з пусковими і утримуючими обмотками та внутрішніми розмикальними контактами керування, що застосовуються у вакуумних контакторах. Аналіз зумовив пошук нових технічних рішень, спрямованих на підвищення надійності таких систем за рахунок виключення зазначених контактів керування.

2. Дослідження запропонованого авторами нового напівпровідникового пристрою форсованого керування моностабільним електромагнітом вакуумного контактора, в якому замість ненадійного внутрішнього розмикального контакту керування застосована відносно нескладна електронна схема, виявило переваги цього пристрою над відповідним електромеханічним пристроєм.

3. Показана одна з можливих реалізацій напівпровідникового пристрою форсованого керування моностабільним електромагнітом і проведено експериментальні дослідження процесів у цьому пристрої без внутрішнього замикального контакту керування та з таким контактом. Були виявлені переваги напівпровідникового пристрою форсованого керування з внутрішнім замикальним контактом керування.

4. Використання замикального контакту керування в напівпровідниковому пристрої є набагато ефективнішим, аніж застосування розмикального контакту в електромеханічному пристрої, оскільки розмикальний контакт комутує великий струм, а замикальний контакт комутує значно менший струм і практично не зношує цей контакт, який фактично є сигнальним, тому надійність пристрою підвищується.

5. Звертає на себе увагу той факт, що при живленні пристрою від джерела змінної напруги через випростувальний діодний міст, виникає розбіжність кривих струму в пускових та утримуючих обмотках, які, на перший погляд, здаються з'єднаними послідовно після того, як закривається транзистор, який шунтує утримуючі обмотки. Насправді ж послідовно з'єднаними у цьому режимі є тільки пускові обмотки, а послідовно до них приєднано коло, яке складається з послідовно з'єднаних двох утримуючих обмоток та діода, з конденсатором, приєднаним паралельно до цього кола. Ця розбіжність пояснюється тим, що струми в пускових та утримуючих обмотках містять постійні та змінні складові, причому постійні складові в пускових та утримуючих обмотках співпадають, а змінні складові – відрізняються за рахунок розгалуженості кола саме для змінних складових. У майбутньому цей висновок бажано підкріпити відповідними розрахунками.

6. Декілька зразків нового напівпровідникового пристрою форсованого керування було передано компанії «Електродинаміка», яка встановила їх на досвідні зразки контакторів, які з жовтня 2017 року безвідмовно експлуатуються на декількох підприємствах гірничовидобувної галузі (шахти, ГЗК), що свідчить про високу надійність даного технічного рішення.

Список літератури

1. Король О.Г., Клименко Б.В., Ереско О.В. Дослідження перехідних процесів в пристрої форсованого керування моностабільним електромагнітом вакуумного контактора // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика – 2018. – № 32 (1308). – С. 34-40.
2. Клименко, Б. В. Форсированные электромагнитные системы / Б. В. Клименко. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 160 с.
3. <https://electrodinamika.com.ua/catalog/vacuum-contactors/shakhtnye-vakuumnye-kontakty/kontaktor-shakhtnyy-kvtn-250-1-1.php>
4. <https://docplayer.ru/42858351-Tekhnicheskij-pasport-kontaktor-vakuumnyy-reversivnyy-vk-49-r-tehnicheskoe-opisanie-kontaktor-vakuumnyy-vk-49-r-tehnicheskoe-opisanie.html>
5. Пат. 131531 Україна, МПК H01F 7/18 (2006.01), H01F 7/06 (2006.01), H01H 33/38 (2006.01). Пристрій для форсованого керування моностабільним електромагнітом / Бугайчук В.М., Клименко Б.В., Ереско О.В., Король О.Г. – № u201805507; заявл. 18.05.2018; опубл. 25.01.2019, Бюл. № 2. <http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=254922>
6. Каталог "Контакты электромагнитные трехполюсные переменного тока серии КНТ" [Электронный ресурс] – URL: <http://www.uralelectro.ru/upload/file/KNT.doc> (27.03.2013). <http://www.findpatent.ru/patent/262/2624659.html>
7. <https://all-spares.ua/ru/digital-oscilloscope-siglent-sds1052dl.php>

References (transliterated)

1. Korol O.G., Klymenko B.V., Eresko O.V. Investigations Of Transients In The Device Of Forced Control Of The Vacuum Contactor Monostable Electromagnet. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Problems of electrical machines and apparatus perfection. Theory and practice. 2018. No 32 (1308). Pp. 34-40.
2. Klymenko B.V. Forced Electromagnetic Systems. Moscow: Energoatomizdat, 1989. 160 p.
3. <https://electrodinamika.com.ua/catalog/vacuum-contactors/shakhtnye-vakuumnye-kontakty/kontaktor-shakhtnyy-kvtn-250-1-1.php>
4. <https://docplayer.ru/42858351-Tekhnicheskij-pasport-kontaktor-vakuumnyy-reversivnyy-vk-49-r-tehnicheskoe-opisanie-kontaktor-vakuumnyy-vk-49-r-tehnicheskoe-opisanie.html>
5. Pat. 131531 Ukraine, IPC H01F 7/18 (2006.01), H01F 7/06 (2006.01), H01H 33/38 (2006.01). A device for forced control of a monostable electromagnet/ Bugaychuk V.M., Klymenko B.V., Eresko O.V., Korol O.G. – № u201805507; declared 18.05.2018; published by 25.01.2019, Bul. № 2. <http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=254922>
6. Catalog "Electromagnetic three-pole contactors of alternating current series CST" [Electronic resource] – URL: <http://www.uralelectro.ru/upload/file/KNT.doc> (27.03.2013). <http://www.findpatent.ru/patent/262/2624659.html>
7. <https://all-spares.ua/ru/digital-oscilloscope-siglent-sds1052dl.php>

Надійшла (received) 10.02.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Король Олена Геннадіївна (Король Елена Геннадьевна, Korol Olena Gennadiivna) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри електричних апаратів; м. Харків, Україна; e-mail: korolelgn@gmail.com

Клименко Борис Володимирович (Клименко Борис Владимирович, Klymenko Borys Volodymyrovych) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач, професор кафедри електричних апаратів; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7393-6198>; e-mail: b.v.klymenko@gmail.com

Ереско Олександр Вячеславович (Ереско Александр Вячеславович, Yeresko Oleksandr Viacheslavovych) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри промислової і біомедицинської електроніки; м. Харків, Україна; e-mail: aerhoff@gmail.com